



Neue Komponenten und Subsysteme für den Brennstoffzelleneinsatz

New Components and Subsystems for Fuel Cell Systems

**DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in Stuttgart
Institut für Fahrzeugkonzepte
Andreas Brinner**

**Pfaffenwaldring 38-40, D-70569 Stuttgart
Tel: ++49 (0) 711 6862 574
E-mail: andreas.brinner@dlr.de**

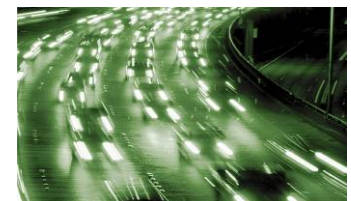


Vortragsinhalt

- Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)
- Das Geschäftsfeld “Verkehr” im DLR
- Das DLR-Institut für Fahrzeugkonzepte FK am Standort Stuttgart
- Brennstoffzellen-Systementwicklung im DLR Institut für Fahrzeugkonzepte
- Wie funktioniert eine Brennstoffzelle?
- Was ist ein Brennstoffzellensystem?
- Aktuelle DLR- und Partnerentwicklungen für Brennstoffzellensysteme
- Zusammenfassung

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

- Forschungszentrum
 - Luftfahrt
 - Raumfahrt
 - Energie
 - Verkehr
- Raumfahrt-Agentur
- Projektträger
- 5.900 Mitarbeiter arbeiten in 29 Forschungsinstituten und Einrichtungen in
 - 13 Standorten
- Büros in Brüssel, Paris und Washington
- Partner von
 - ◆ European Transsonic Wind Tunnel (ETW)
 - ◆ German Dutch Wind Tunnels (DNW)





Mobilität – Essenziell für Volkswirtschaften

- Sichert und fördert wirtschaftliche Entwicklung
 - Verkehr stellt mehr als 18 Millionen Arbeitsplätze in der EU
 - Automobilindustrie sorgt für weitere 14 Millionen Arbeitsplätze
 - Verkehr hält 13% Anteil am EU BSP
 - Ermöglicht kulturelle und sportliche Veranstaltungen
 - Befriedigt persönliche Bedürfnisse
- ⇒ Bedarf für schnellen, zuverlässigen und sicheren Verkehr



Vision

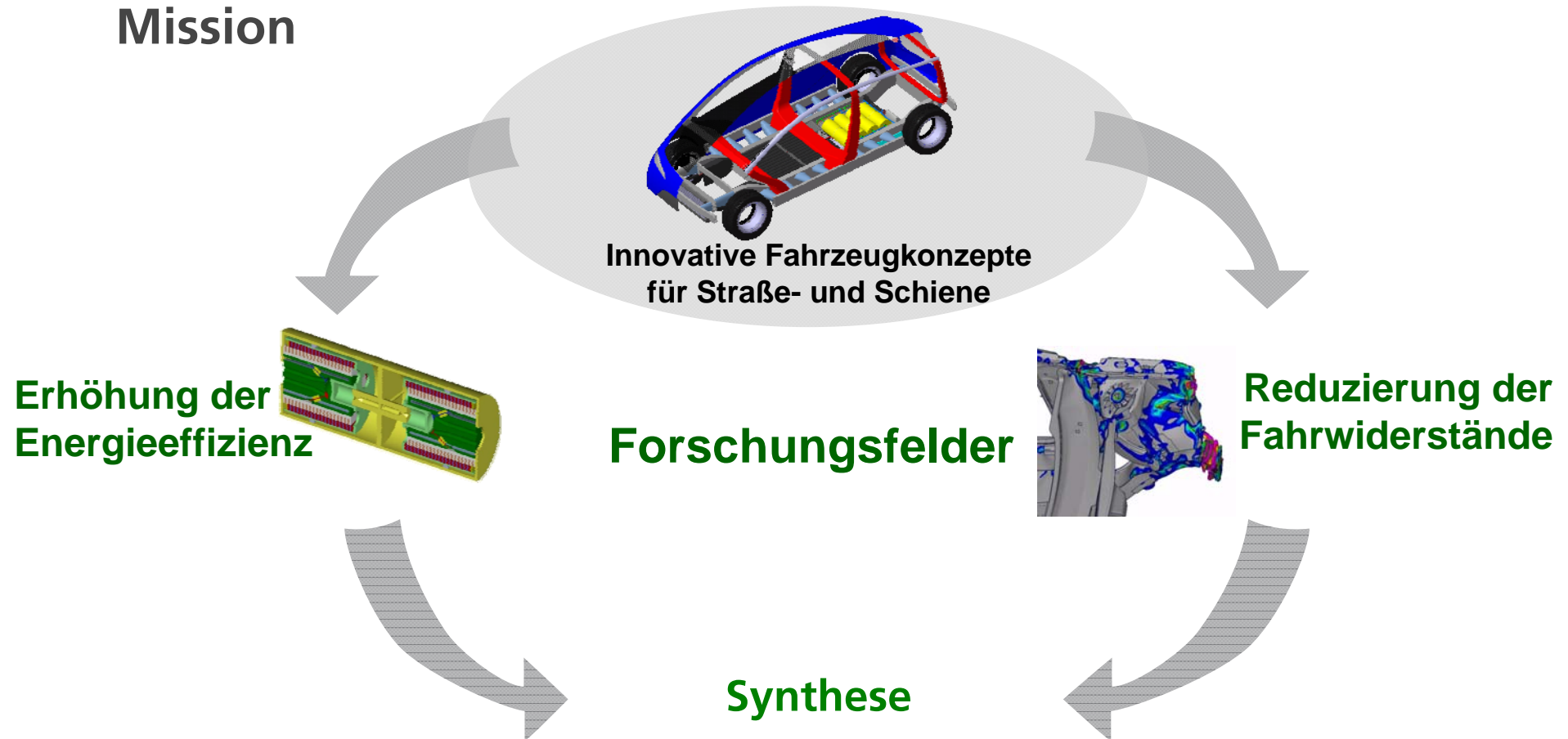
Nachhaltige, sichere und finanzierbare
„Individuelle Mobilität“



- Signifikant verbesserte Nutzung der Energiepotenziale für Fahrzeug- / und Transportsysteme
Beispiel: Fahrzeugtaugliche Brennstoffzellensysteme
- Durchbruch bei emissions- / CO₂-freien oder neutralen Antriebstechnologien
Beispiel: Wasserstoff-Brennstoffzellensysteme
- Erweiterung der Energieträger im Verkehr
Beispiel: Leistungsfähige Wasserstoffspeicher



Mission

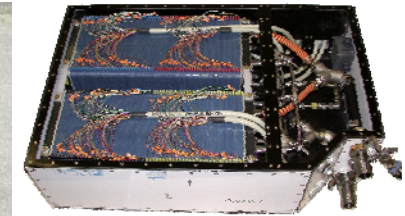


➤ Neue Fahrzeugkonzepte

➤ FK gestaltet und demonstriert Innovationen für Fahrzeugkonzepte und Technologien zukünftiger Transportsysteme

Brennstoffzellen-Systementwicklung

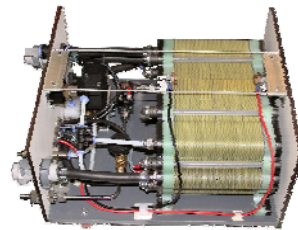
- Entwicklungsplattformen & Teststände
- Neue Systemkomponenten
- Systemkonzepte & Fahrzeugintegration
- Energiemanagement für Antrieb & Fahrzeug



Projekt **HyLite**

Industriefahrzeuge

Projekt **VFF Vorfeldfahrzeug**



Strassenfahrzeuge

- „Minimales“ & robustes BZ-System
- Modularisierung
- Minimaler Eigenverbrauch
- Funktionsintegration in wenige Komponenten

Wie funktioniert eine Niedertemperatur-Brennstoffzelle?

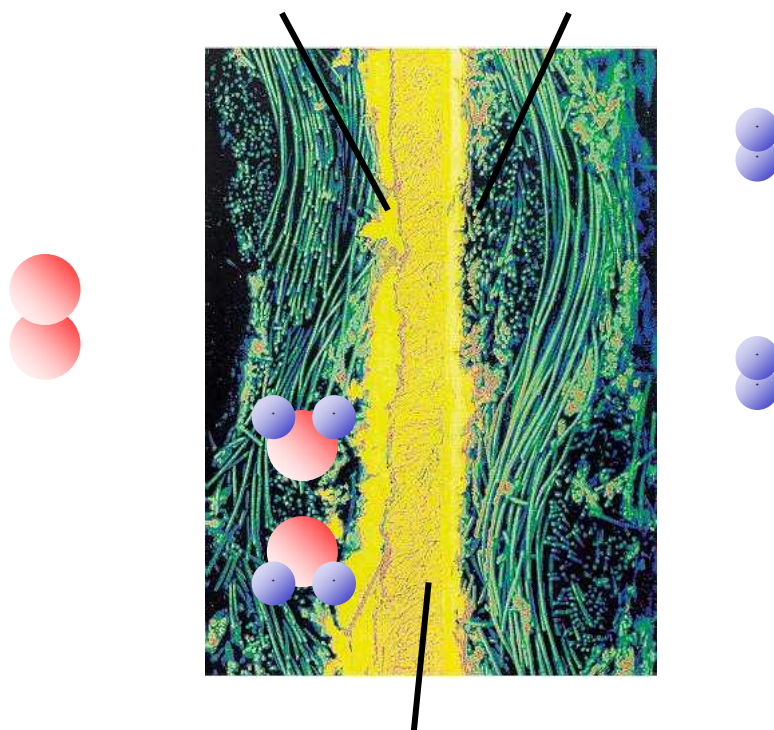
PEFC (Polymer Electrolyte membrane Fuel Cell)



Kathode



Anode



Polymerelektrolyt-Membran

- **Anode:** Wasserstoff (H₂) wird oxidiert (gibt Elektronen ab)
- **Elektrolyt-Membran** Protonenleiter aber elektrischer Isolator
- **Kathode:** Sauerstoff (O₂) wird reduziert (erhält Elektronen)
- **Typische Werte unter Last:**
0,7 V Spannung
0,75 A/cm² Strom





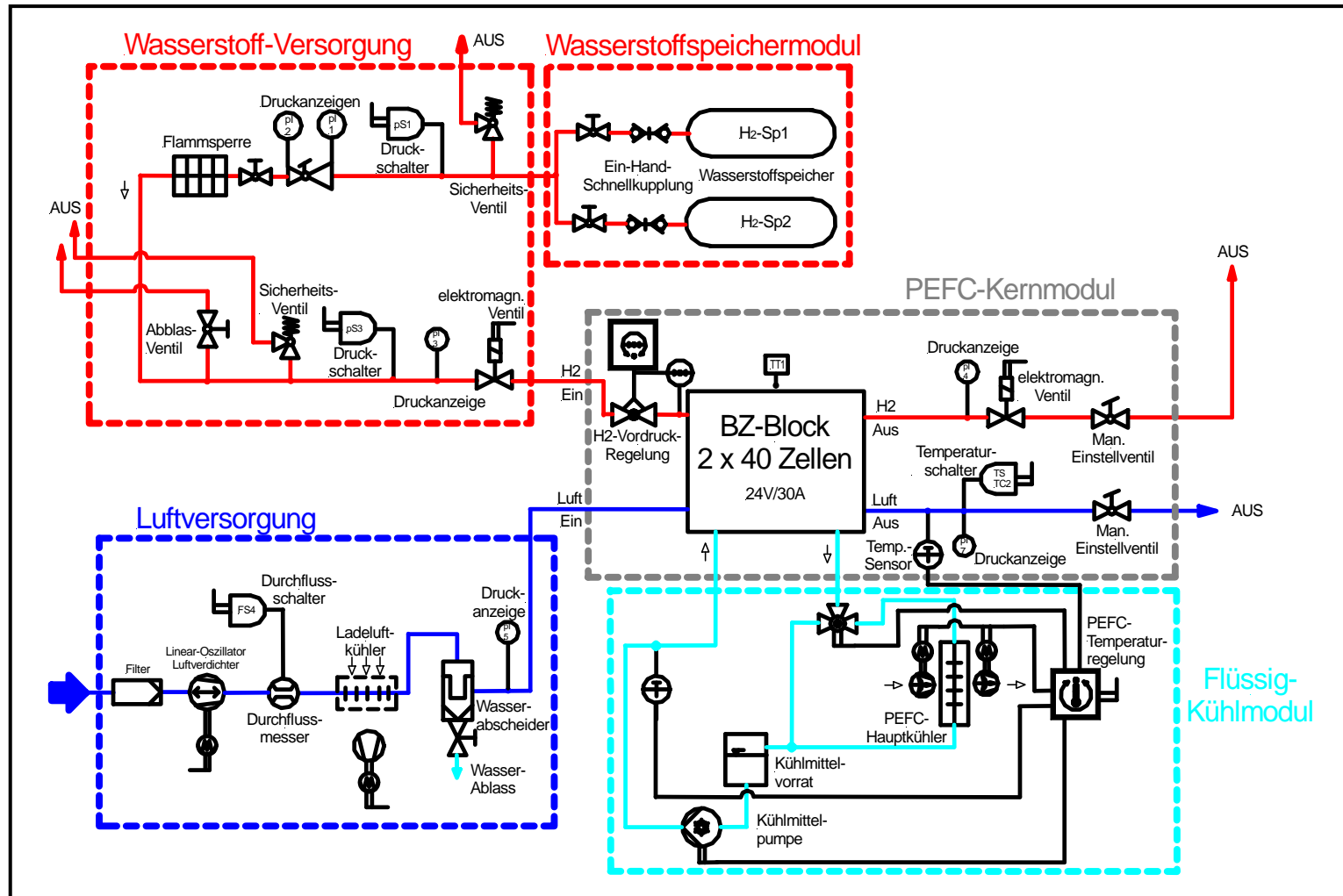
Was braucht man, damit eine Niedertemperatur-Brennstoffzelle funktioniert?

- Brennstoff: **WASSERSTOFF**
- Oxidationsmittel: **SAUERSTOFF** aus der Umgebungsluft
- **KÜHLMITTEL** zur Abfuhr der Abwärme des elektrochemischen Prozesses
- **BRENNSTOFFZELLE**, der Energiewandler, in dem aus elektrochemischer Energie elektrische und thermische Energie erzeugt wird
- **ELEKTRISCHER VERBRAUCHER**, der den elektrochemischen Prozess in der **BRENNSTOFFZELLE** ablaufen lässt und den Laststrom festlegt
- **SICHERHEITSBEGRENZER** die das Auftreten von extremen Betriebswerten im Brennstoffzellenblock verhindern
- **STEUERUNG** für den Betrieb aller Systemkomponenten, die Bereitstellung elektrischer Leistung für den Eigenverbrauch und als sichere Verbindung zum Energieverbraucher



Modulare Brennstoffzellensysteme für Fahrzeuge

Blockschaltbild des wassergekühlten PEFC-Systems





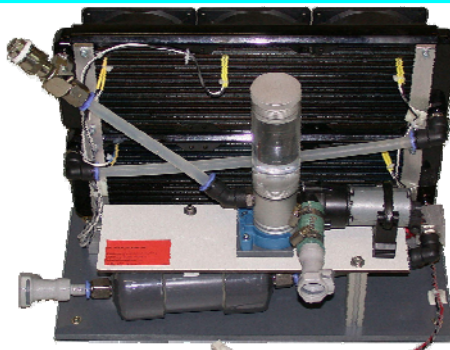
Modulfunktionen eines Niedertemperatur-Brennstoffzellensystem

- Wasserstoffbereitstellung erfolgt aus dem Wasserstoffvorrat des **Wasserstoffspeichermoduls**
- Wasserstoffkonditionierung, d.h. lastgerechte Druck- und Mengeneinstellung erfolgt im **Wasserstoffversorgungsmodul**
- Sauerstoffbereitstellung aus der Umgebungsluft mit Filtrierung und lastgerechter Druck- und Mengeneinstellung ist die Aufgabe des **Luftversorgungsmoduls**
- Der Transport der thermischen Leistung aus der Wärmequelle Brennstoffzellenblock zu den Wärmesenken Radiatorkühler und Sorptionsspeicher (optional) ist Aufgabe des **Kühl- / Thermomanagementmoduls**
- Feineinstellung, Überwachung und Notabschaltung des elektrochemischen Prozesses im Brennstoffzellenblock sind die Aufgaben des **PEFC-Kernmoduls**
- Überwachung der Sicherheit, elektrische Versorgung aller Komponenten, Steuerung / Regelung aller Betriebsabläufe sind die Kernaufgaben des **Steuerungsmoduls**

Modulare Systemkonzepte

Flüssig gekühltes 1,2kW_e PEFC-System in modularer Bauweise

Kühlmodul



H₂-Versorgungsmodul



Luft-
Versorgungsmodul



PEFC-Kernmodul



Steuerungsmodul



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Was ist ein Brennstoffzellensystem?

Institut für Fahrzeugkonzepte



Neue Entwicklungsansätze für Brennstoffzellensysteme

Konzepte, Subsysteme & Komponenten müssen überarbeitet werden

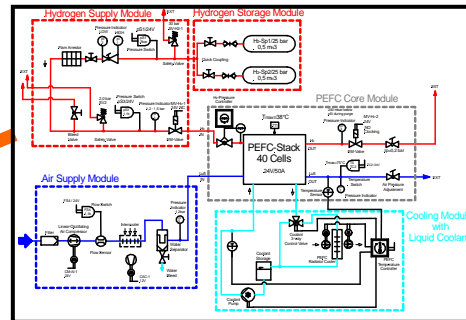
- **Einfachere Systemkonzepte & Entflechtung der Funktionen**
 - Kostenreduktion
 - Erhöhung der Zuverlässigkeit
 - Anpassung an Spezialfälle & Einsatznischen
- **Modularisierung der verfahrenstechnischen & elektrischen Subsysteme**
 - Vorfertigung von Baugruppen
 - Nutzung gleicher Baugruppen für alle Konzeptvarianten
 - Schnelle Inbetriebnahme und einfache Integration
- **Hoch integrierte Bauteile**
 - Weniger Bauteile durch gruppenweise Funktions-Zusammenfassung
 - Höhere Zuverlässigkeit
 - Geringere Kosten

Modulare Brennstoffzellensysteme für Fahrzeuge

Systembeispiele mit Leistungen $< 5\text{kW}$



Flughafen-
Vorfeldtransporter



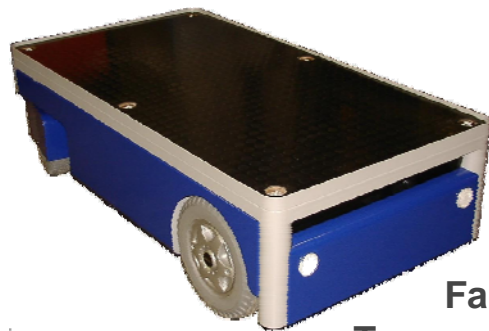
Flüssiggekühltes System

Gepäckwagen-
Schlepper

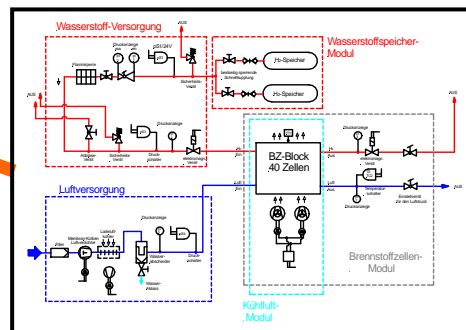


Ein Systemkonzept mit zwei Varianten
für alle Anwendungen

Luftgekühltes System



Fahrerloses
Transportsystem



Elektroroller



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Aktuelle DLR- und Partnerentwicklungen für Brennstoffzellensysteme

Institut für Fahrzeugkonzepte

BZ-Modulbaureihen für die Kleinserienfertigung

Luftversorgung



1400W



750W



500W



300W

Systemsteuerung



300W – 7500W



Wasserstoffversorgung

Kühlsysteme



800W -
1400W

Flüssigkühlung



500W -
1200W

Luftkühlung



300W -
500W



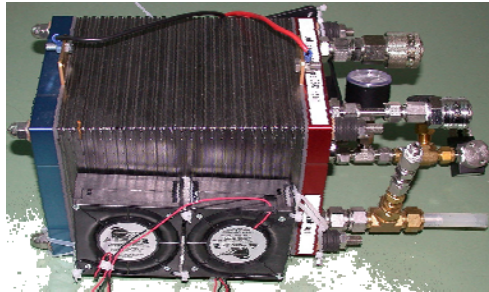
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Aktuelle DLR- und Partnerentwicklungen für Brennstoffzellensysteme

Institut für Fahrzeugkonzepte

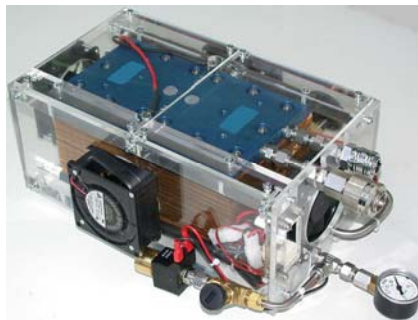


Brennstoffzellen-Kernmodule für die Kleinserienfertigung



Luftgekühlt

560W



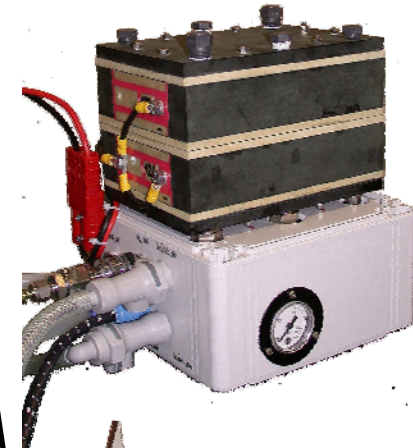
500W



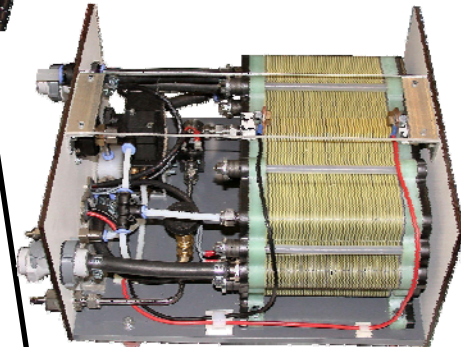
**200W
450W**

Wassergekühlt

**720W -
1440W**



**600W-
1200W**



360W

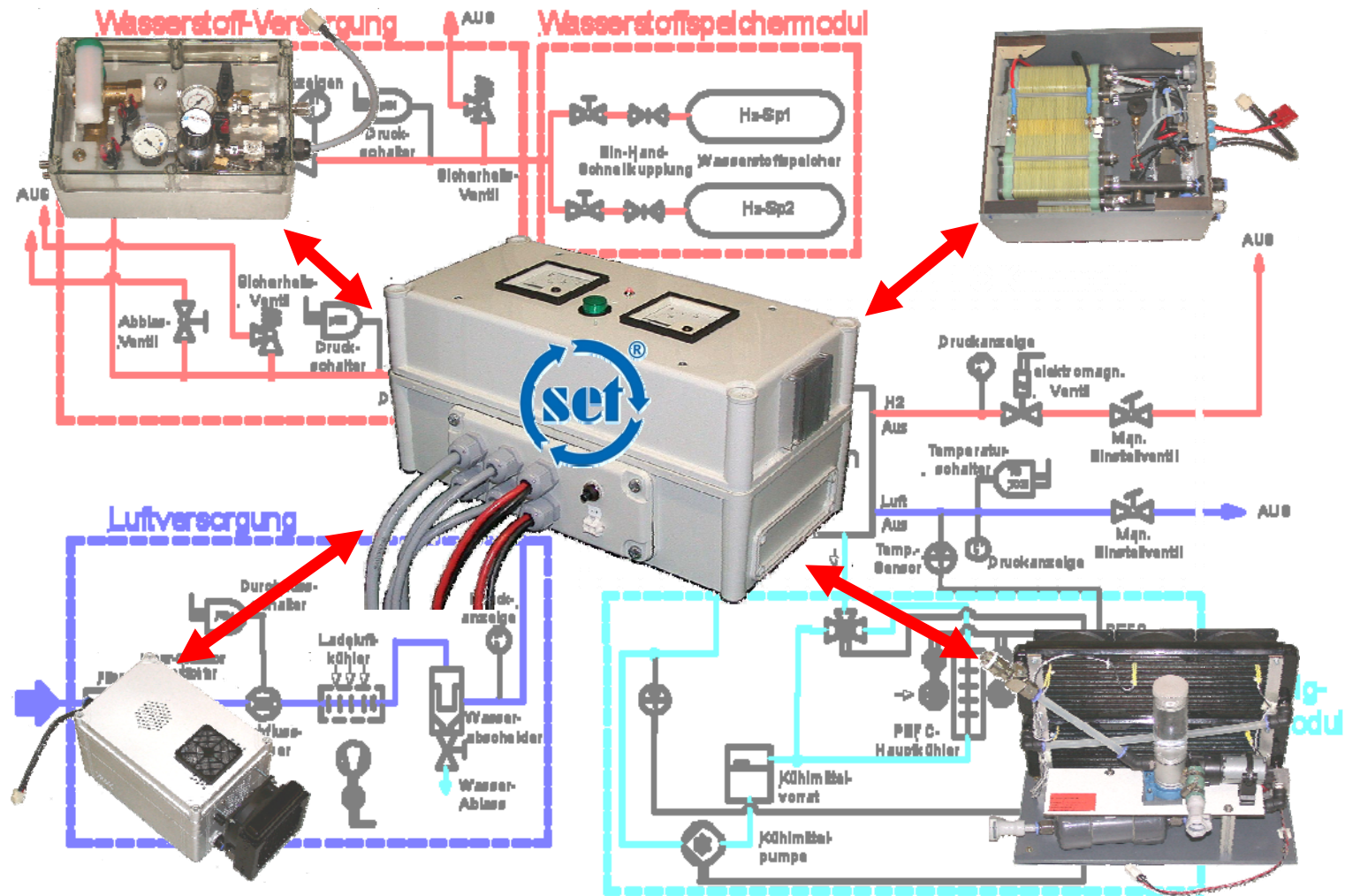


**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Aktuelle DLR- und Partnerentwicklungen für Brennstoffzellensysteme

Institut für Fahrzeugkonzepte

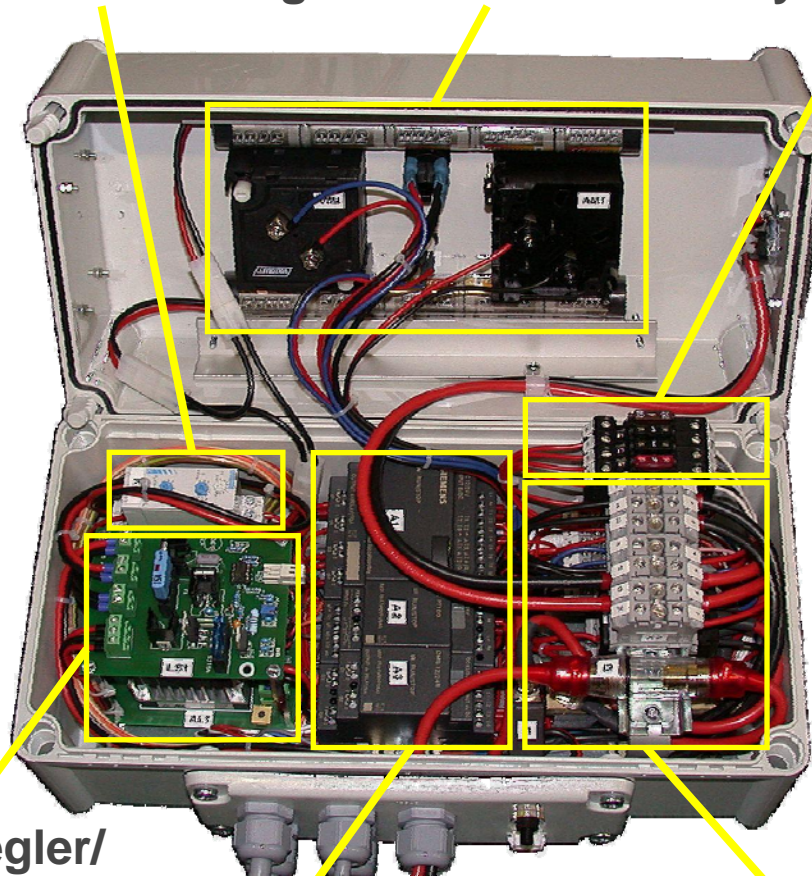
Eine Steuerung für alle Systemvarianten



PEFC-Steuerungs- & Leistungsanpassungsmodul

Leistungsbereich: 0,3 – 7,5kW Systemleistung

Blocküberwachung Starterakku Subsystemabsicherung



Laderegler/
Bordnetz

Ablaufsteuerung

Leistungsanschluss



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Aktuelle DLR- und Partnerentwicklungen für Brennstoffzellensysteme

Institut für Fahrzeugkonzepte



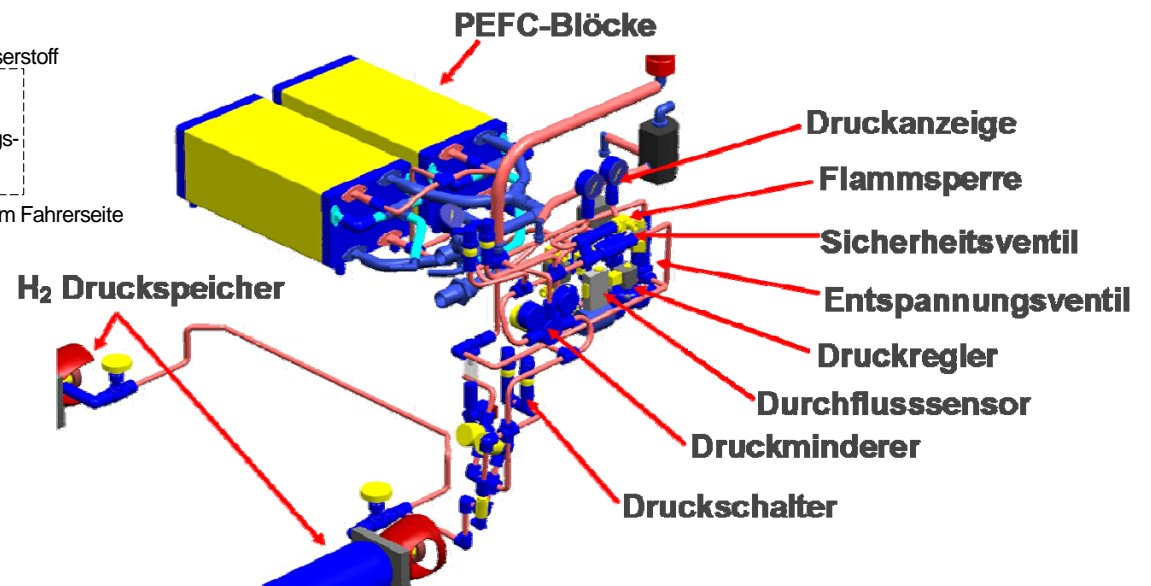
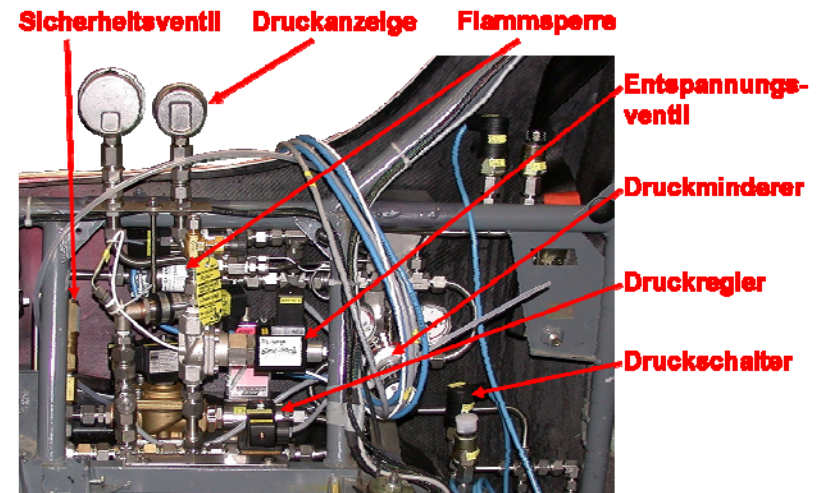
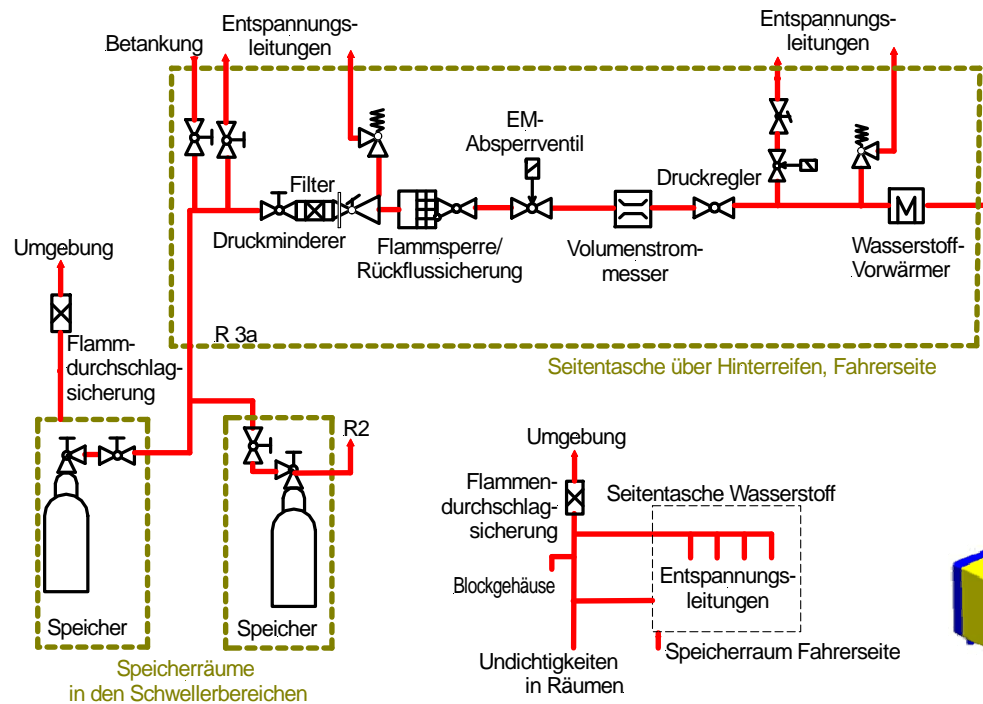
PEFC-Steuerungs- & Leistungsanpassungsmodul

Leistungsbereich: 0,3 – 7,5kW Brennstoffzellenblock-Leistung

- Eine zentrale Steuerung und Leistungselektronik für alle Systemleistungen
- 12, 24, 48V Blöcke einsetzbar
- Ausgangsströme bis 160 Ampere derzeitig darstellbar
- Stabilisiertes Bordnetz für alle Systemmodule bis 600 Watt bei 24 VDC
- Betriebsstart des System aus internen Starterakkus
- Ladung des Startakkus im Betrieb in Schwachlastzeiten
- Fremdstartmöglichkeit über externe Ladebuchse
- Aufbau der Steuerung aus gängigen Komponenten ohne Spezialbauteile

Wasserstoffversorgung heute

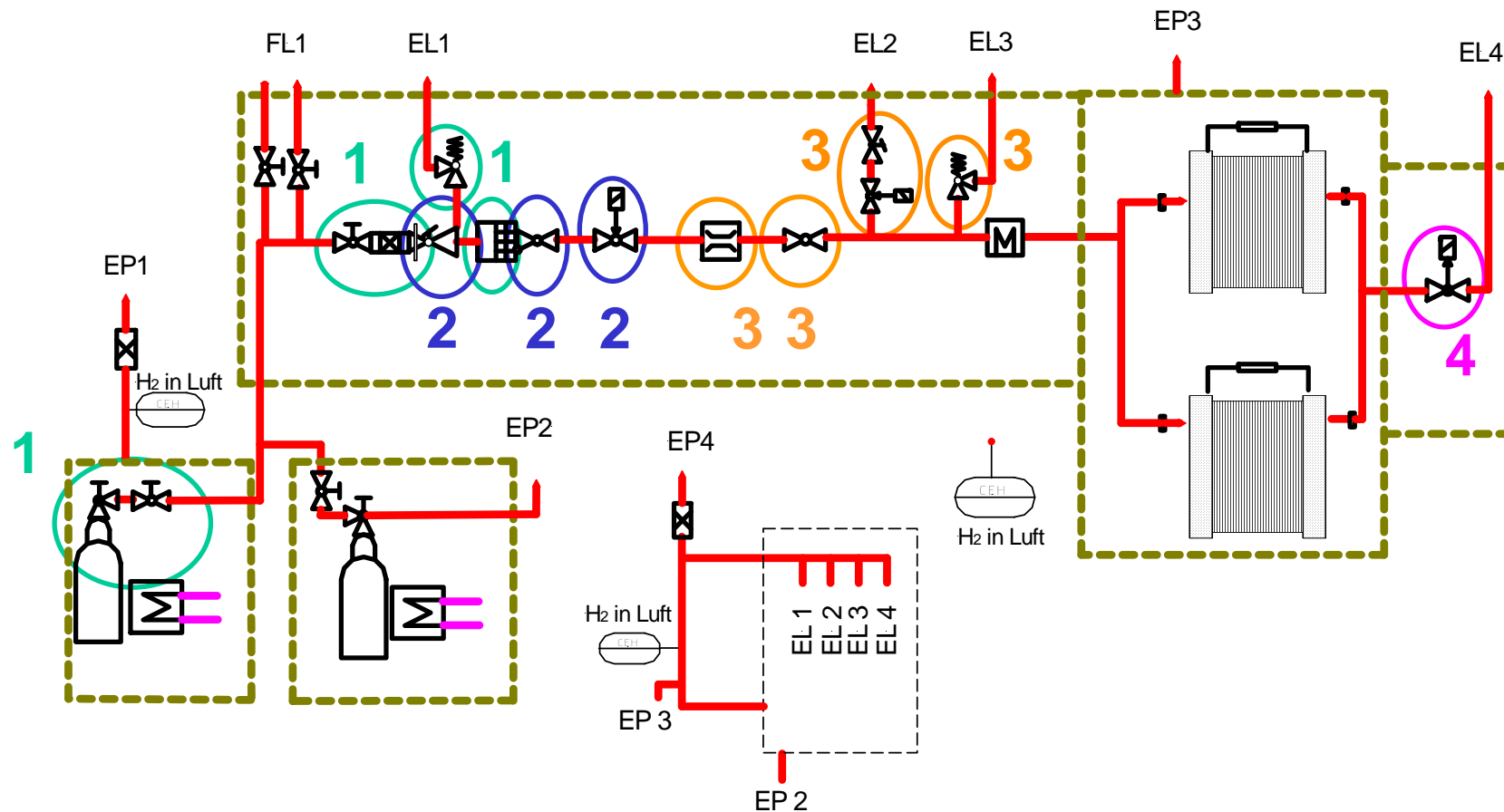
Diskreter Aufbau



- 35 Einzelkomponenten
- 10 Liter Bauvolumen
- Komplexes Package
- Abdichtung schwierig

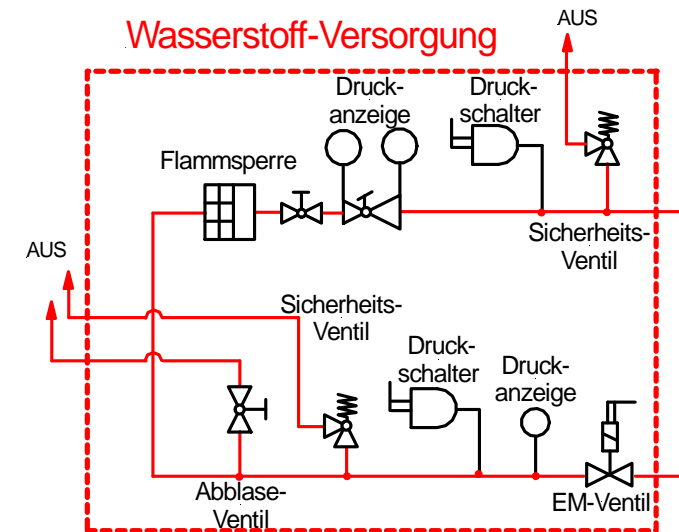
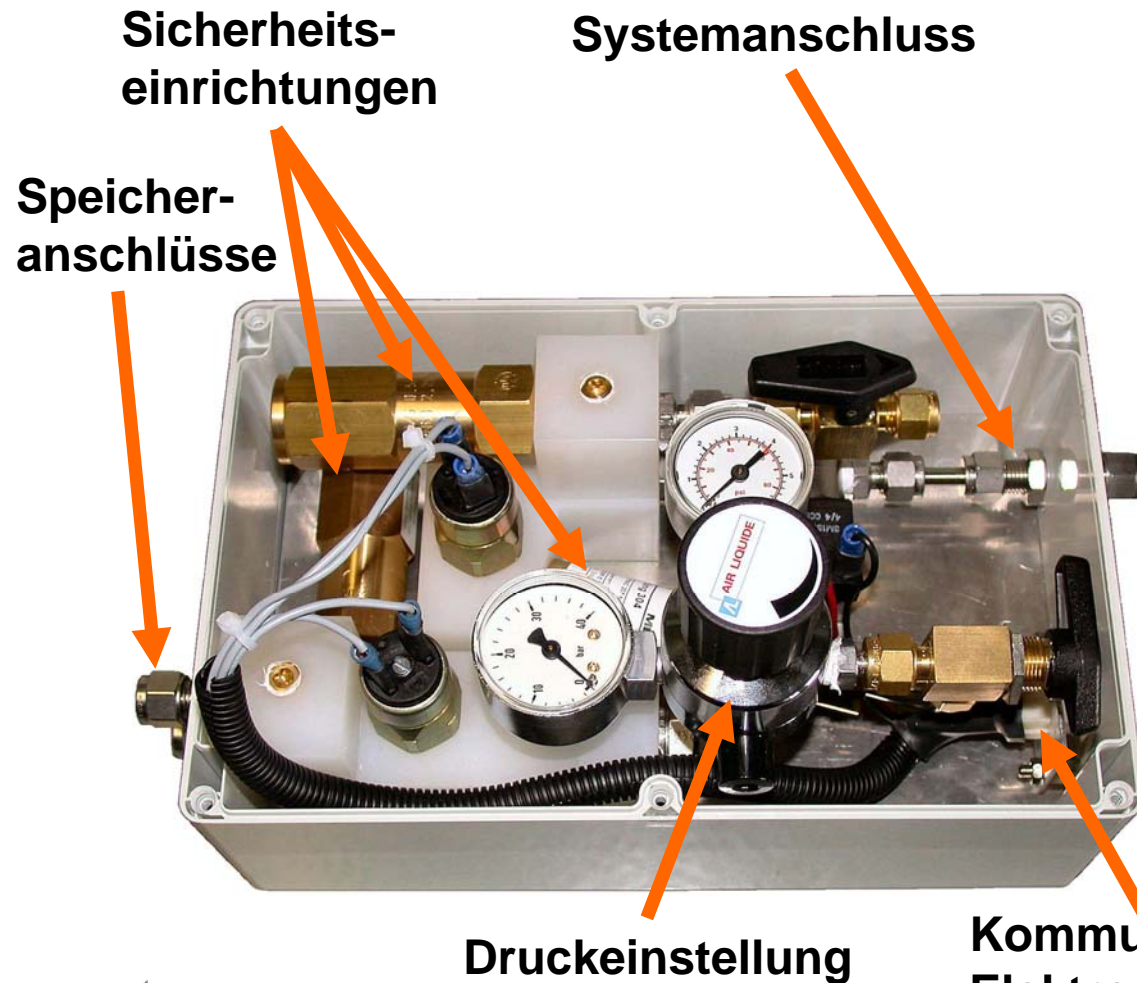
Wasserstoffversorgung morgen – die bessere Idee

Zusammenfassung vieler Funktionen in wenigen Komponenten =
Funktionelle Hochintegration



Wasserstoffversorgung – wichtige Zwischenlösung

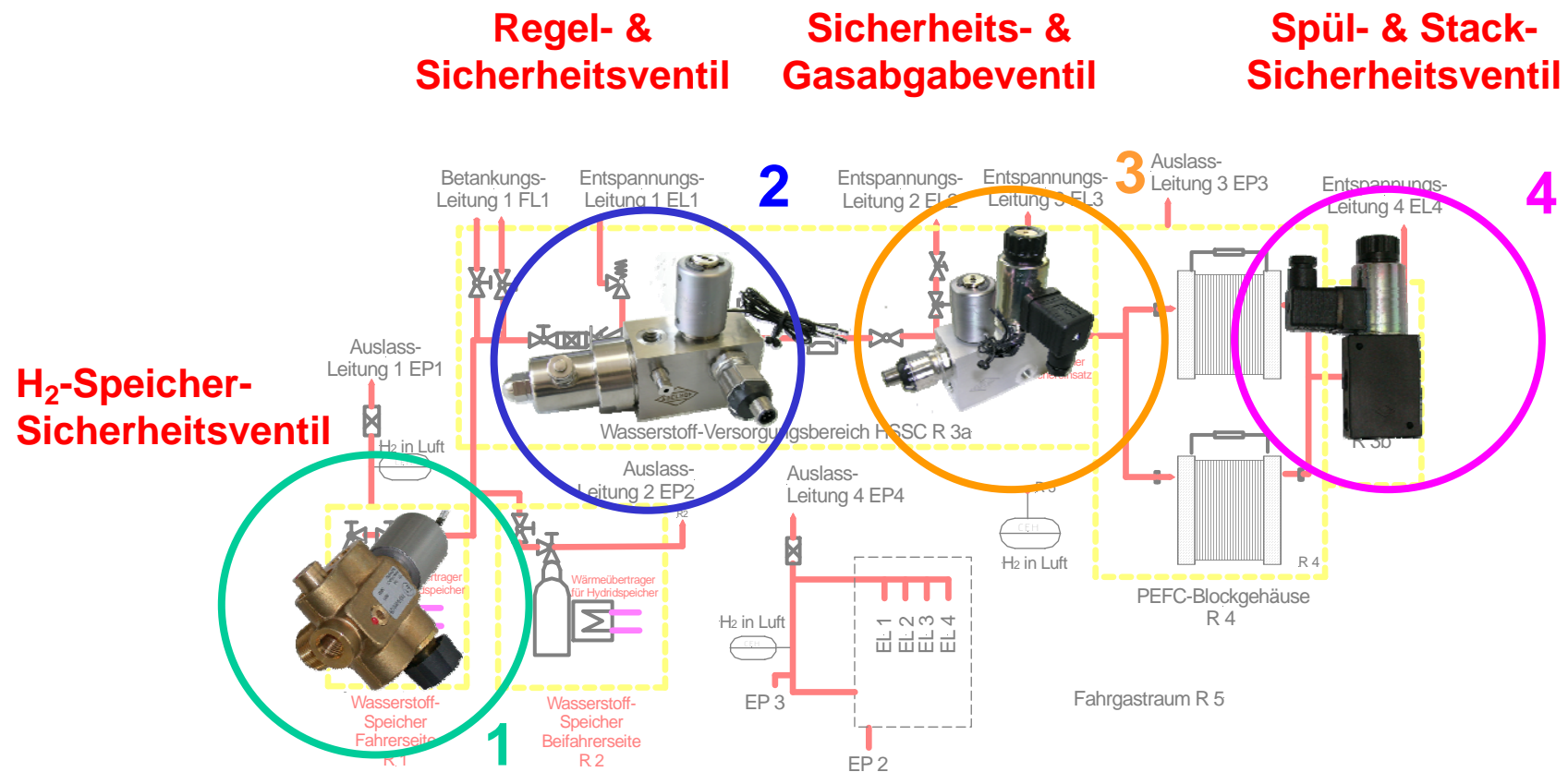
Modulaufbau mit diskreten Komponenten in Integrationsadaptern



Hoch integrierte Bauteile

Die Wasserstoffversorgung für morgen

4 Komponenten können zukünftig 35 Komponenten ersetzen



Lösungen für die Wasserstoffversorgung

2 hochintegrierte Komponenten sind bereits marktgerecht

Regel- & Sicherheitsventil



Sicherheits- & Gasabgabeventil



Funktionen in einer Baugruppe:

- EM-Isolationsventil zur Abtrennung der Wasserstoffstrecke vom Brennstoffspeicher
- Druckminderung
- Integrierter Filter
- Durchflussbegrenzung über Fixdrossel
- Überströmventil
- Drucksensierung

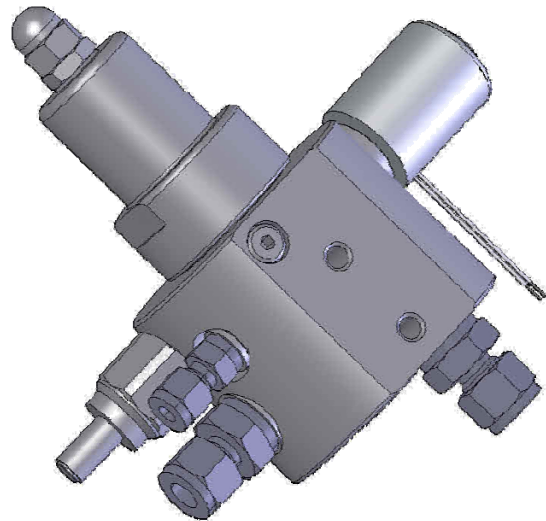
Funktionen in einer Baugruppe:

- EM-Isolationsventil zur Stackabsicherung
- EM- 3/2-Wege-Ventil zur
 - Druckminderung
 - Druckregelung
 - Entlüftung
- Integrierter Filter
- Durchflussbegrenzung über Fixdrossel
- Drucksensierung

Lösungen für die Wasserstoffversorgung

Die neue Generation berücksichtigt bereits Feld-Erprobungsergebnisse!

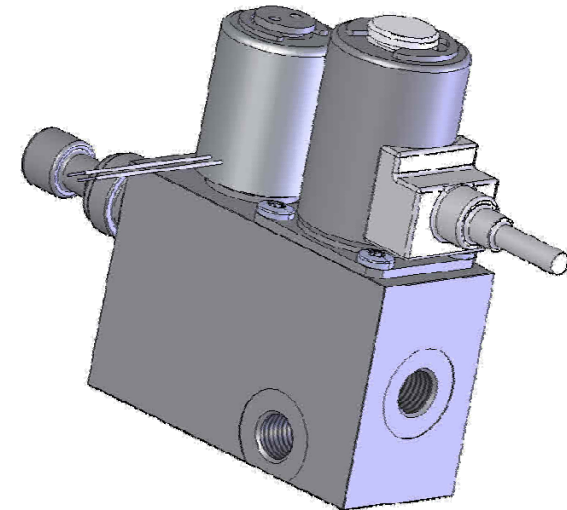
Regel- & Sicherheitsventil, 2. Gen.



Funktionen in einer Baugruppe:

- EM-Isolationsventil
- Druckminderung
- Integrierter Filter
- Durchflussbegrenzung
- Überströmventil
- Drucksensierung

Sicherheits- & Gasabgabeventil, 2. Gen.



Funktionen in einer Baugruppe:

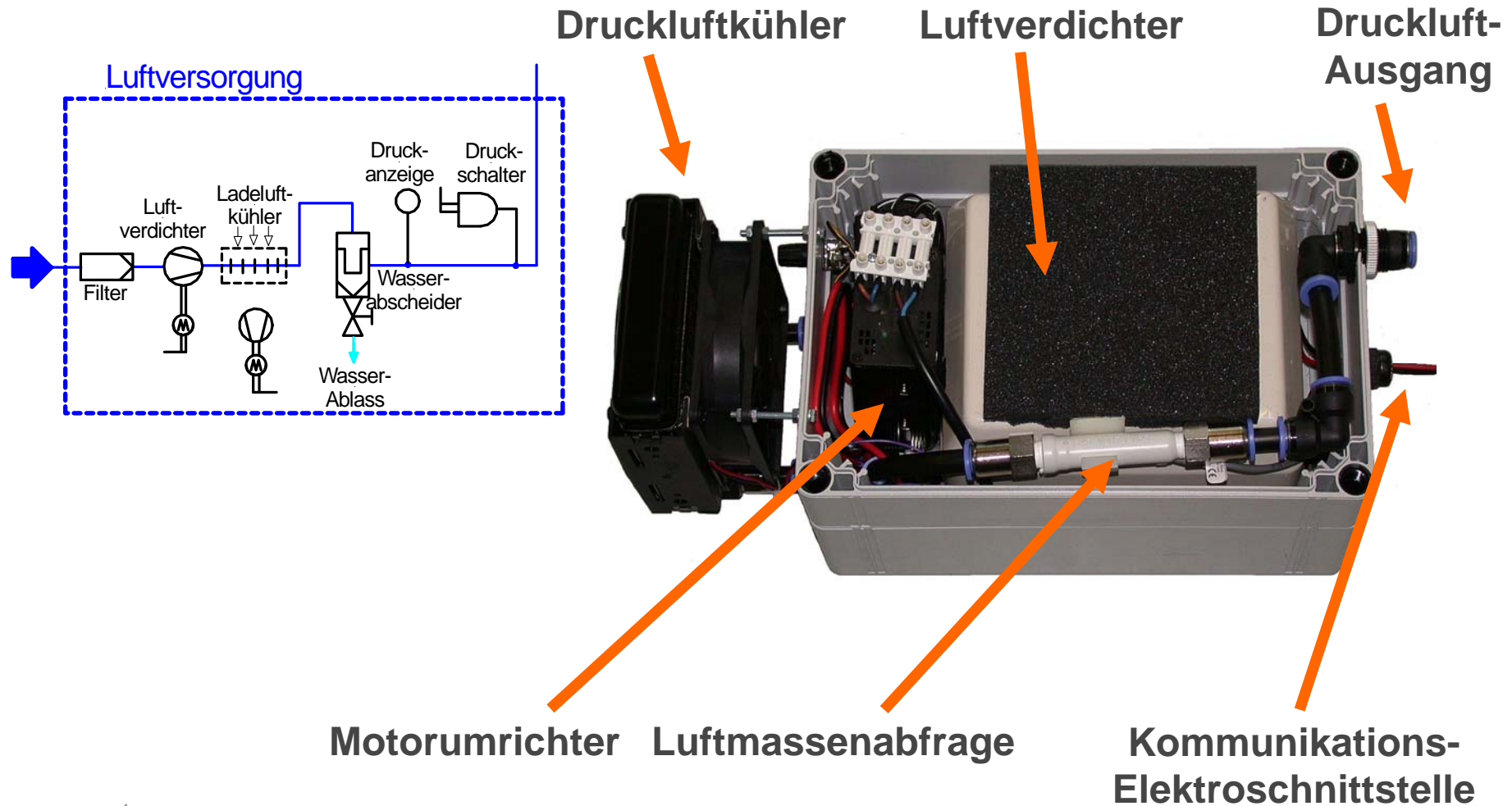
- EM-Isolationsventil
- EM- 3/2-Wege-Ventil zur
 - Druckminderung/ -regelung
 - Entlüftung
- Integrierter Filter
- Durchflussbegrenzung
- Drucksensierung
- **Sicherheitsabschaltung**



Fellbach,
BadenWürttemberg

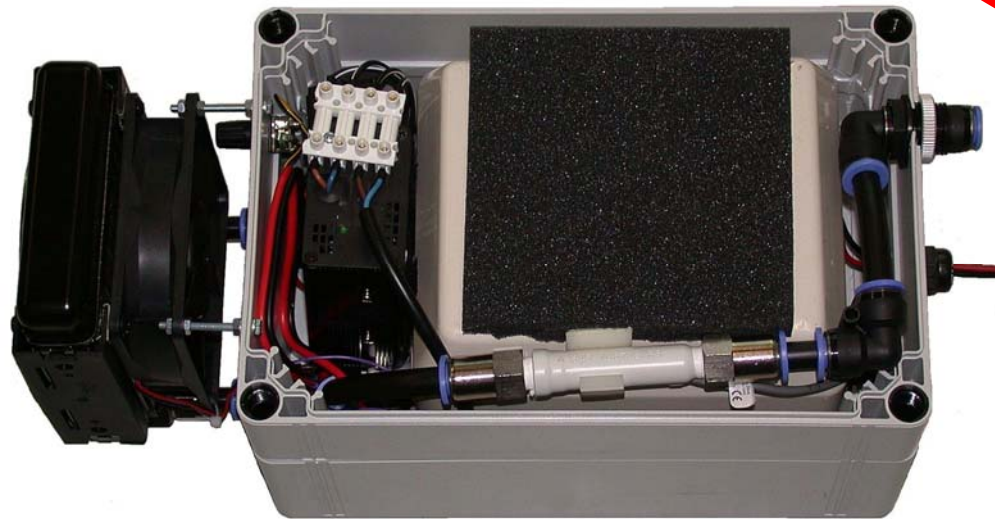
PEFC Periphere Subsysteme

Luftversorgung mit Schalldämmung auf Linearverdichterbasis



Luftversorgung - Der konsequente Schritt:

Integration aller externen Komponenten in den Luftverdichter



120 Watt
65NI/min

Linearverdichter YP70

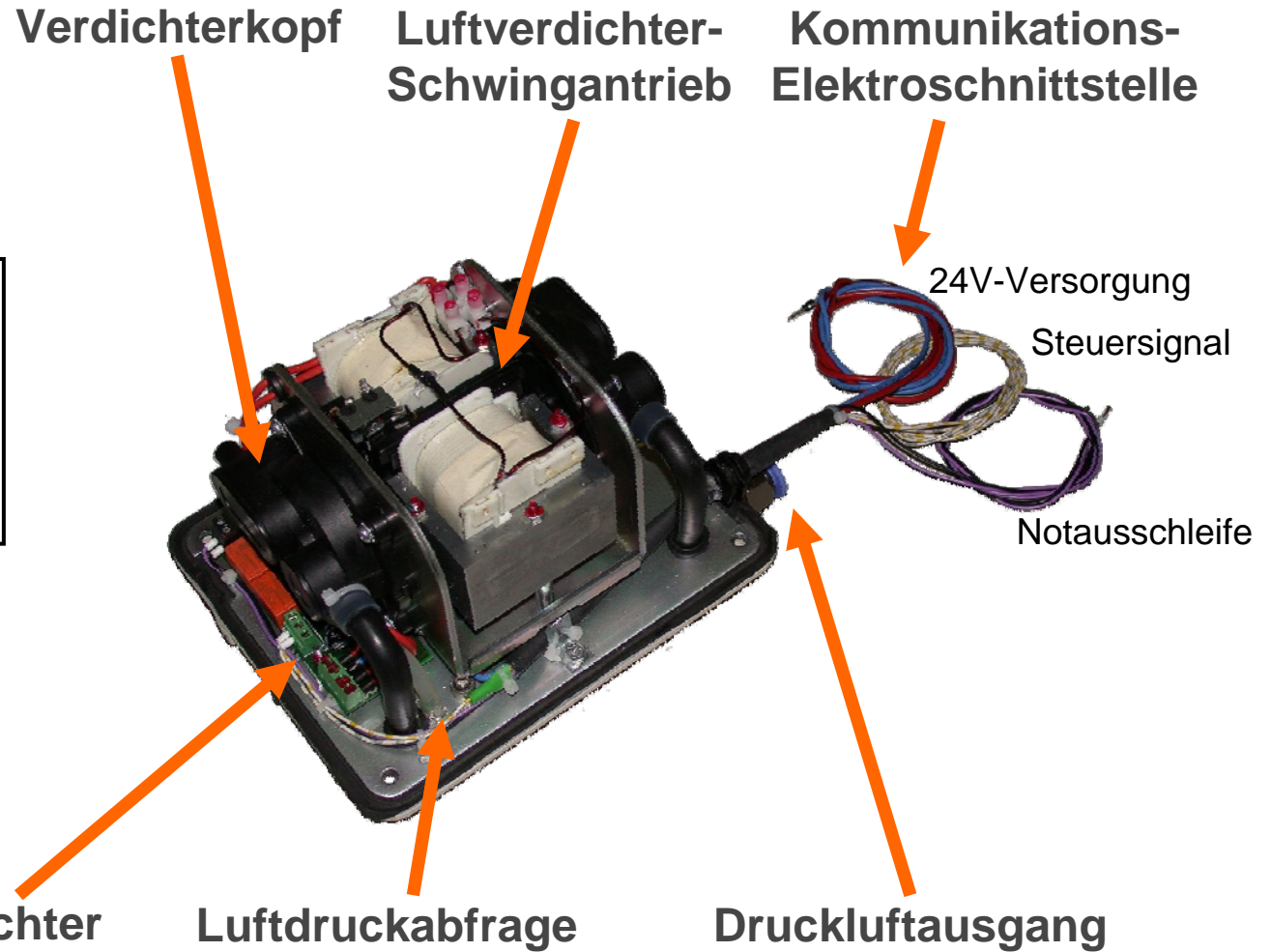
60 Watt
80NI/min



- **Zusätzliche Vorteile:**
- Gehäuseintegration des Ladeluftkühlers
- Gewichtseinsparung durch leichteres Gehäuse
- Energieeinsparung durch Antriebsoptimierung
- Höhere Luftmenge durch Strömungsoptimierung

PEFC Subsystem

Hoch integriertes Luftverdichtermodul





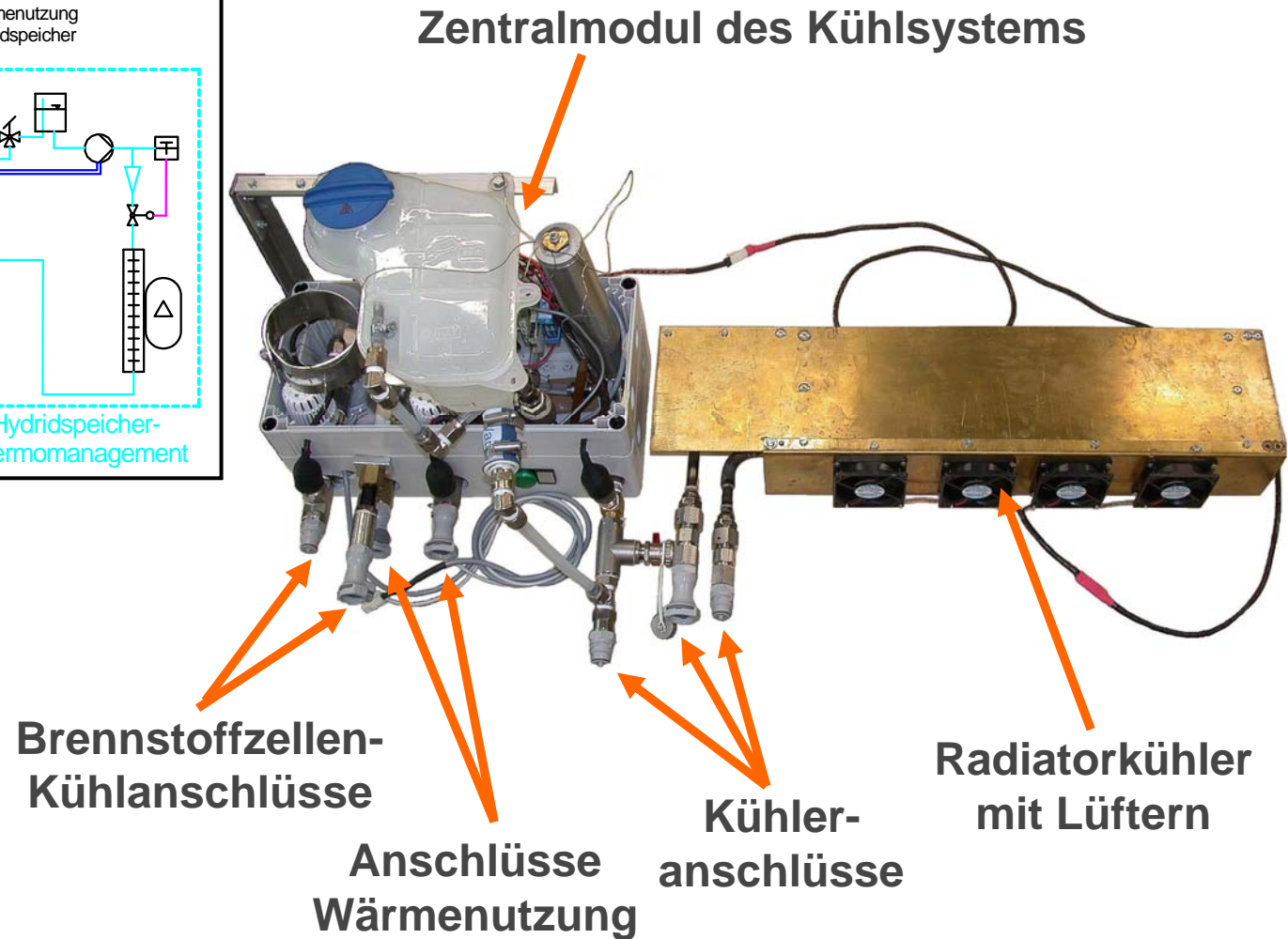
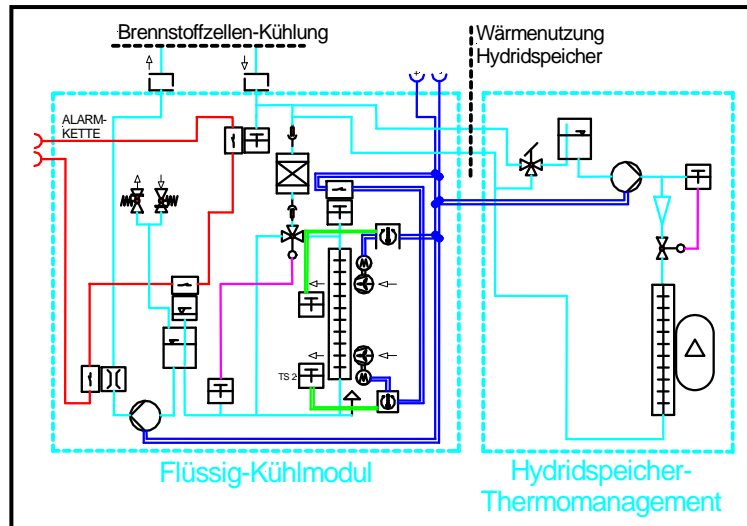
PEFC- Luftversorgungsmodul

Linearverdichtertechnik für hoch effiziente Luftversorgung

- Luftmenge 12 – 400 NI/min mit den derzeitig erhältlichen Verdichtern
- Erhöhung der Luftlieferleistung um ca. 15% durch Wegfall von Strömungswiderständen im Modul
- Druckbereich: 0,02 – 0,3 bar_ü
- Regelbarkeit 20 – 100% der Luftmenge durch Frequenzumrichter
- Minimaler Energieverbrauchs durch abgestimmte Wicklungstechnik
- Leistungsverbrauch gegenüber Standardmodell um ca. 50% reduziert
- Verwendung leiser ölfreier Linearmembranverdichter mit 27 – 45 db(A)
- Integration aller Modulkomponenten direkt in den Verdichter
- Robuste wartungsarme gehäusegeschützte Technik

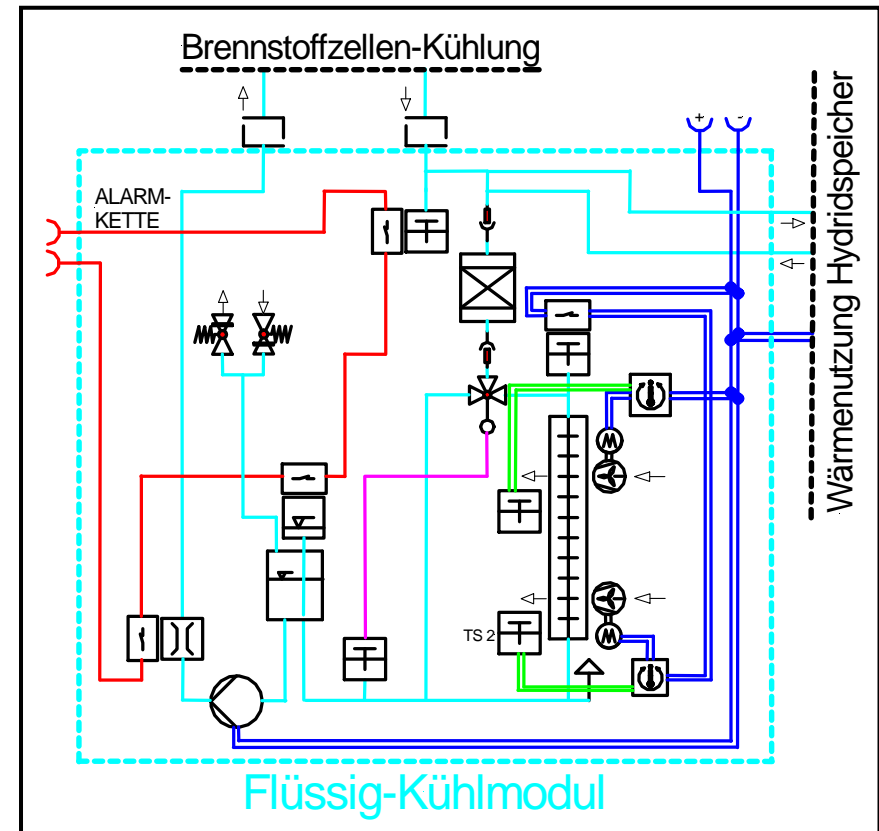
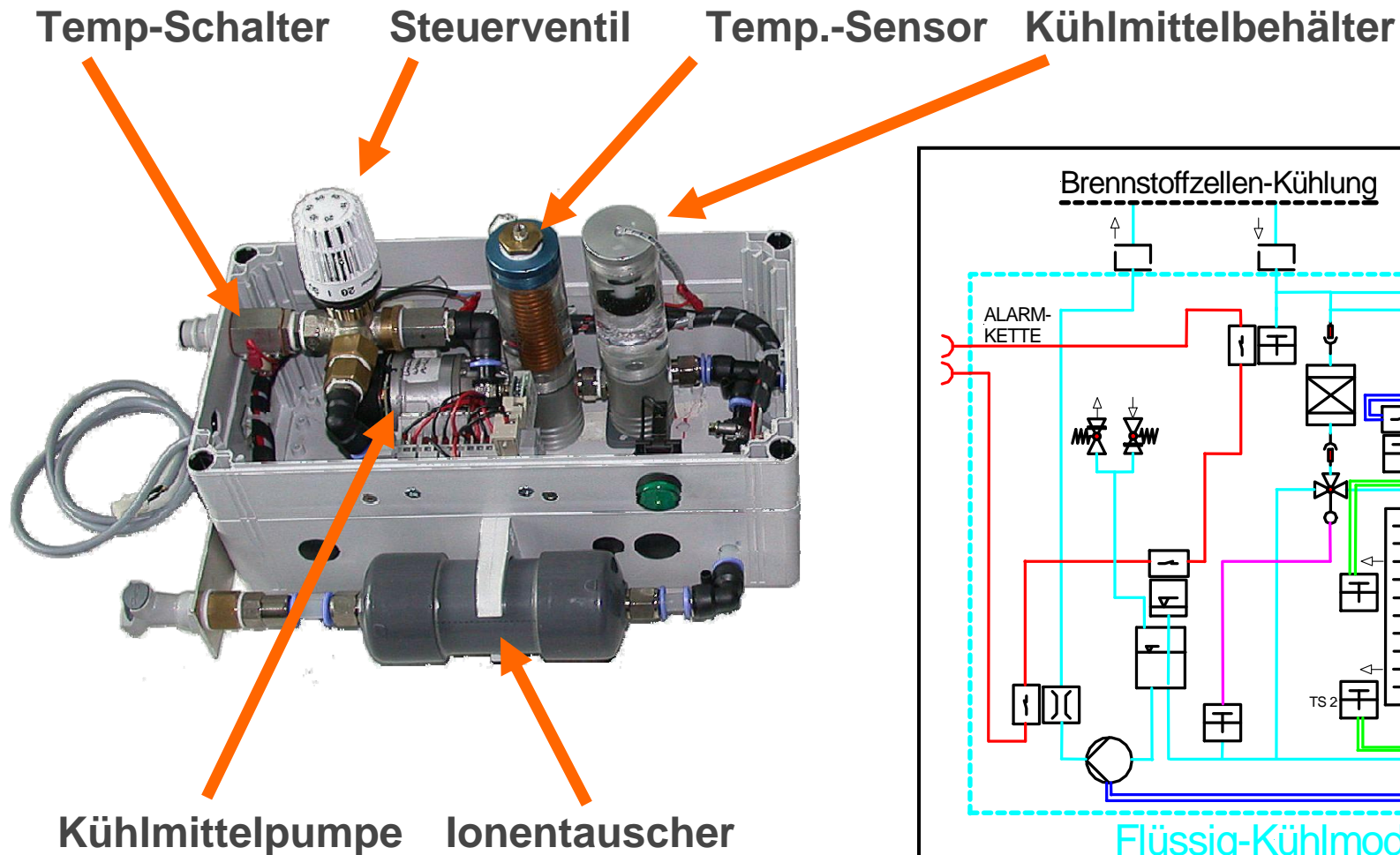
Hoch integriertes Kühlmodul für PEFC-Systeme

Geregeltes Kühlmodul mit Nutzerschnittstelle für thermische Leistung



Hoch integriertes Kühlmodul für PEFC-Systeme

Zentralmodul des Kühlsystems ohne Kühlmittelbehälter





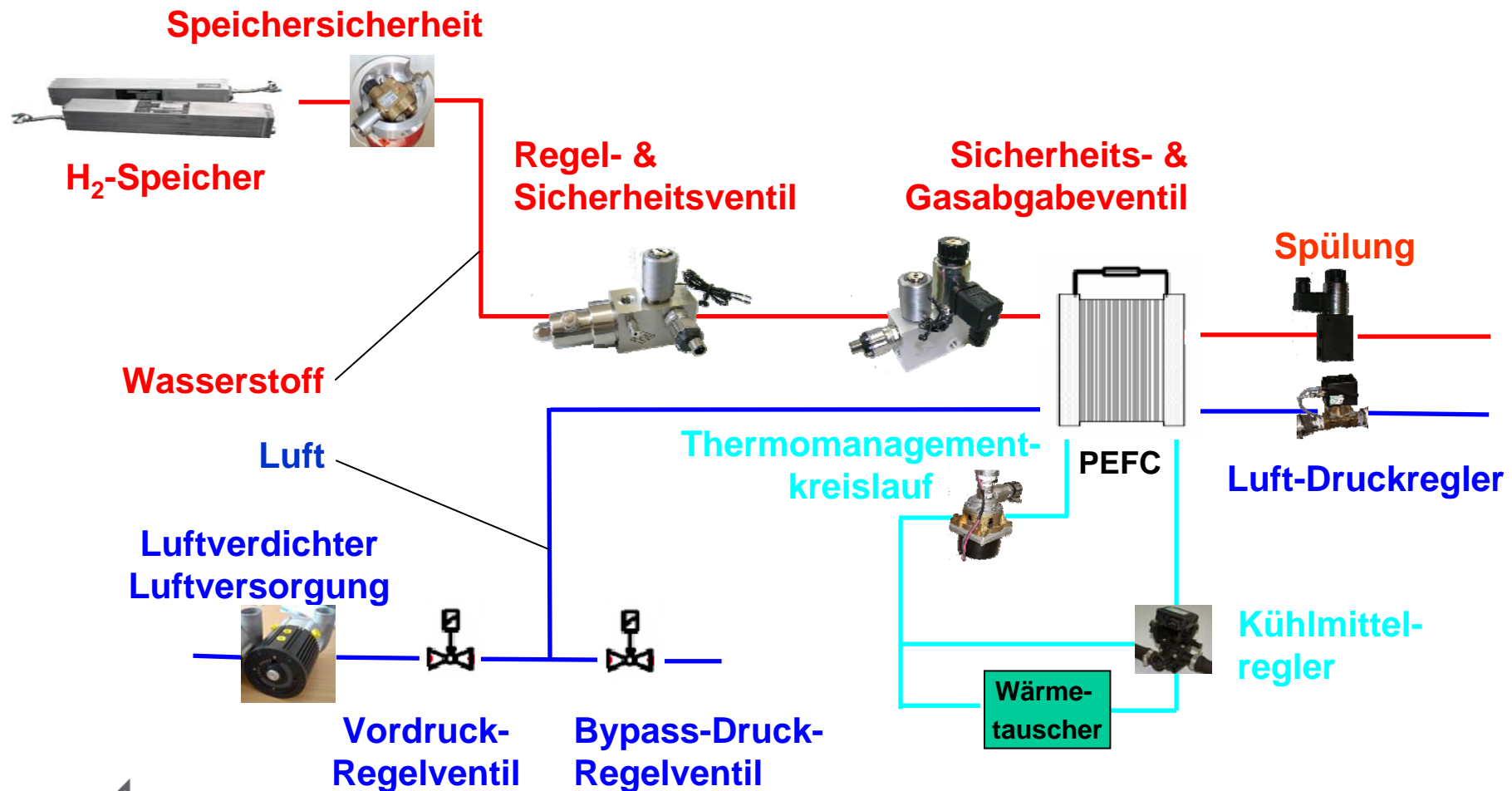
PEFC- Thermomanagementmodul

Effiziente Kühlung und Wärmeenergienutzung

- Autonomes Kühlmodul ohne äußeren Steuer- & Regeleingriff
- Min. Energieverbrauch mit 20 – 40 Watt je nach Wärmebelastung bei 1,4kW
- Kühlmittel-Temperaturbereiche (1) bis 90°C und (2) bis 150°C
- 3 gekoppelte Kühlmittelkreisläufe für
 - (K1) Brennstoffzelle mit Bypass,
 - (K2) Wärmenutzung Hydridspeicher mit T-Regelung und
 - (K3) Kühlkreislauf mit T-Regelung
- Betrieb mit voll entsalztem Wasser oder versch. Kühlmittelgemischen
- Temperaturregelung mit thermohydraulischen Ventilen und T-Vorwahl
- Forcierte Wärmeabgabe mit einzeln drehzahlgeregelten Lüftern
- Für alle PEFC-Systeme mit Flüssigkühlung einsetzbar

Entwicklung von Brennstoffzellen-Systemkomponenten

Aktuelle Produkte, Entwicklungen und Ansätze





Zusammenfassung

- Systemminimierung & Modularisierung mit Industriepartnern läuft.
- Erste Subsysteme werden in Kleinserie hergestellt und sind industriell verfügbar.
- Brennstoffzellenblöcke sind als Kleinserienprodukte zu Kosten von ca. 1.200 – 3.000 € pro Kilowatt Leistung verfügbar.
- Die Kostenziele von ca. 1.000,-- Euro / kW können durch die Maßnahmen der
 - (1) drastische Systemvereinfachung,
 - (2) Komponenten- / Subsysteme-Serienherstellung,
 - (3) Funktionsintegration in einer reduzierten Zahl von Komponenten sowie
 - (4) Nutzung von Großserien-Produktionsmethodenabsehbar erreicht werden.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Für Ihre Fragen zu diesem Vortrag
und zu unseren Exponaten stehe ich Ihnen gerne zur
Verfügung.**

Deutsches Zentrum für Luft- & Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)
Dipl.-Ing. Andreas Brinner
Pfaffenwaldring 38-40, D-70569 Stuttgart
Tel: 0711 6862 574 / Fax: 0711 6862 1574
E-mail: andreas.brinner@dlr.de / Internet: www.dlr.de/fk